



КОНСОЛИДАЦИЯ ПЕРЕЛОМОВ БЕДРЕННОЙ КОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ МЕТОДИК ЛЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА ОТ ТРАВМЫ ДО ОСТЕОСИНТЕЗА

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии
и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган,
Российская Федерация

Цель. Изучить особенности и длительность заживления переломов диафиза бедренной кости в зависимости от используемых технологий остеосинтеза и сроков его выполнения после травмы.

Материал и методы. Исследование выполнено на 24 беспородных собаках. Всем животным в условиях операционной моделировали поперечный перелом диафиза бедренной кости в средней трети с помощью долота. Животных разделили на 4 группы по 6 животных в каждой. Животным группы 1 через час после перелома проводили чрескостный остеосинтез спице-стержневым аппаратом внешней фиксации (ССА). В группе 2 ССА применяли на четвертые сутки после травмы. В группе 3 через час после травмы производили блокируемый интрамедуллярный остеосинтез (БИОС). В группе 4 аналогичный БИОС выполняли на четвертые сутки после перелома. Для оценки результатов лечения использовали клинко-рентгенологические и лабораторные методы исследования. Длительность наблюдения за животными после операции составила 100 суток.

Результаты. Обнаружено, что динамика остеорепаративных процессов в исследованных группах была схожа и не зависела от продолжительности периода от травмы до начала остеосинтеза. Срок сращения перелома диафиза бедренной кости у животных группы 1 по медиане составил 46 (38; 57) суток, в группе 2 – 73 (71; 78) суток (различия между группами достоверны при $p=0,004$); в группе 3 – 49 (44; 60) суток, в группе 4 – 72 (70; 93) суток, Me (Q1; Q3) (различия между группами достоверны при $p=0,008$). Показано, что причиной увеличения длительности фиксации у собак с отсроченным остеосинтезом являлось длительное сохранение острофазной реакции, вызванной травмой (на примере роста C-реактивного белка).

Заключение. Длительность заживления перелома диафиза бедренной кости при применении технологии чрескостного остеосинтеза ССА и технологии БИОС сопоставима как в условиях ургентного, так и отсроченного остеосинтеза.

Ключевые слова: перелом бедренной кости, остеосинтез, фиксация перелома, внешняя фиксация, внутренняя фиксация, репаративный остеогенез

Objective. To study the characteristics and healing duration of the diaphyseal femoral fractures, depending on the technologies used for osteosynthesis and the time between trauma and osteosynthesis.

Methods. The study was performed on bred dogs ($n=24$). In the operating theatre all animals were modeled the transverse fracture of the femoral diaphysis in the middle third using a chisel. The animals were divided into 4 groups (6 per group). Animals of group 1 (one hour after the fracture) underwent transosseous osteosynthesis with a pin-rod external fixation device (PREF). In group 2, PREF was performed on the fourth day after the injury. In group 3 (one hour after the injury) blockable intramedullary osteosynthesis (BIOS) was performed. In group 4, the similar BIOS was performed on the fourth day after the fracture. To assess the results of treatment, the clinical, radiological and laboratory research methods were used. The duration of post-operative observation of the animals was 100 days.

Results. It has been found out that the dynamics of osteoreparative processes in the studied groups was similar and did not depend on the time between trauma and osteosynthesis.

The median time for the femoral shaft fracture healing in animals of group 1 was 46 days (Q1-Q3: 38-57), in group 2 – 73 days (Q1-Q3: 71-78) (differences between groups are significant at $p=0.004$); in group 3 – 49 days (Q1-Q3: 44-60), in group 4 – 72 days (Q1-Q3: 70-93) (differences between groups are significant at $p=0.008$). It is shown that the reason for the increase in fixation terms in dogs with the delayed osteosynthesis is the long-term persistence of the acute phase reaction caused by trauma (using the growth of C-reactive protein as an example).

Conclusion. The healing terms of a femoral shaft fracture with the use of PREF technology and BIOS technology are comparable, both in the conditions of urgent and delayed osteosynthesis.

Keywords: femoral fracture, osteosynthesis, fracture fixation, external fixators



кости в условиях остеосинтеза спице-стержневым аппаратом внешней фиксации (ССА) и блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза (БИОС). Впервые показано, что длительность заживления перелома диафиза бедра при выполнении остеосинтеза через 4 дня после травмы в 1,5 раза больше, чем при выполнении остеосинтеза в течение 1 часа после травмы. Впервые показано, что при отсроченном остеосинтезе эффективность применения ССА и БИОС сопоставима в части длительности консолидации перелома диафиза бедренной кости.

What this paper adds

It has been determined the similarity of the osteoreparation dynamics in the healing of diaphyseal femoral fractures: under conditions of osteosynthesis with a pin-rod external fixation device (PREF) and blocked intramedullary osteosynthesis (BIOS). For the first time it has been shown that healing terms of a diaphyseal femoral fractures when osteosynthesis performed in 4 days after injury is 1.5 fold longer in comparison with the performance of osteosynthesis within 1 hour after the injury. For the first time it has been shown that in the case of delayed osteosynthesis, the effectiveness of PREF and BIOS is comparable in terms of the duration of the consolidation of the diaphyseal femoral fractures.

Введение

Лечение пациентов с переломами диафиза бедренной кости является трудной задачей [1, 2]. Диафизарные переломы бедра составляют около 50% от всех переломов данного сегмента и, в зависимости от характера перелома и применяемого метода лечения, срастаются в сроки, превышающие среднестатистические [3]. О сложности лечения данной категории пациентов свидетельствует и тот факт, что среди пациентов ортопедо-травматологического профиля эти больные в плане реабилитации относятся к самой тяжелой группе [4].

В настоящее время имеется достаточное количество работ, посвященных проблеме оптимизации заживления переломов бедренной кости с применением различных вариантов остеосинтеза [5, 6, 7]. Однако малоизученным остается вопрос закономерности консолидации

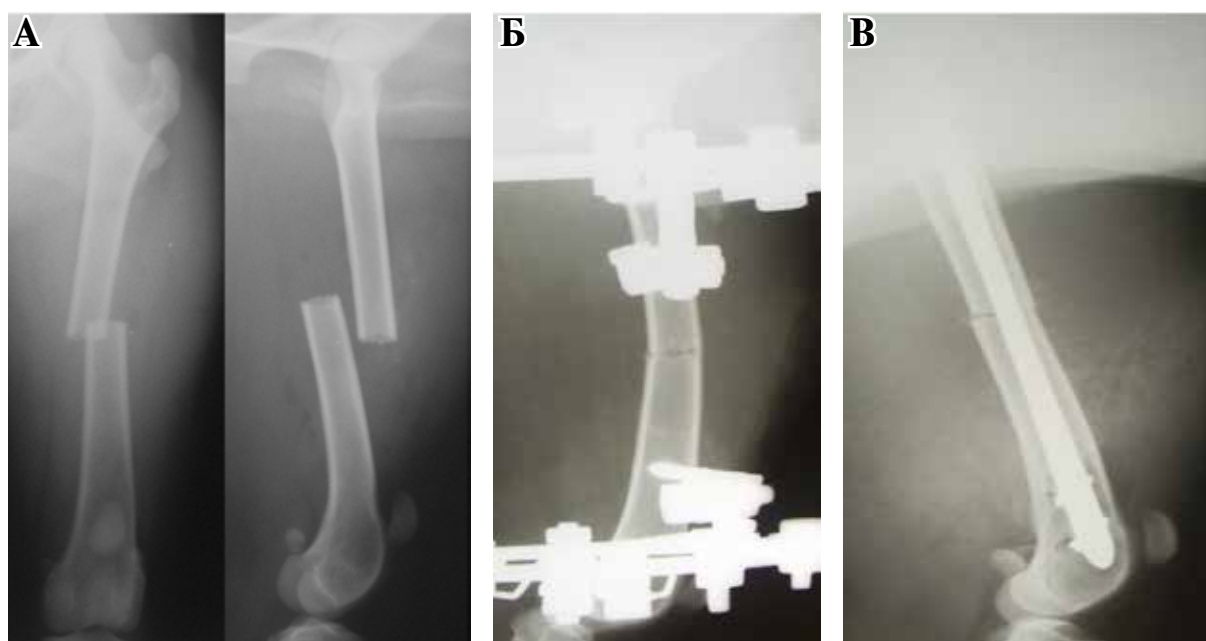
переломов бедренной кости в условиях применения разных методик с учетом продолжительности периода от травмы до остеосинтеза [8].

Цель. Изучить особенности и длительность заживления переломов диафиза бедренной кости в зависимости от используемых технологий остеосинтеза и сроков его выполнения после травмы.

Материал и методы

Исследование выполнено на 24 беспородных собаках в возрасте от 1 до 3 лет, с массой тела $20,2 \pm 2,5$ кг с длиной бедра $17,3 \pm 1,6$ см ($M \pm \sigma$). Всем животным в условиях операционной моделировали поперечный перелом диафиза бедренной кости в средней трети с помощью долота и приставки-противоупора, которая позволяла стандартизировать линию излома (рис. 1 А).

Рис. 1. А — рентгенограммы бедренной кости собак — модель поперечного перелома; Б, В — рентгенограммы бедренной кости после остеосинтеза: Б — спице-стержневым аппаратом, В — интрамедуллярным блокирующим штифтом.



Животных разделили на 4 группы по 6 животных в каждой. Животным группы 1 через час после перелома производили чрескостный остеосинтез спице-стержневым аппаратом внешней фиксации (ССА) (рис. 1 Б). Во второй группе остеосинтез ССА осуществляли на четвертые сутки после травмы. Во время оперативного вмешательства для репозиции отломков использовали скелетное вытяжение. В третьей группе через час после травмы производили блокируемый интрамедуллярный остеосинтез (БИОС) стержнями диаметром 6-7 мм и 3-4 болтами (Biomedtrix, USA) (рис. 1 В). В четвертой группе аналогичный БИОС выполняли на четвертые сутки после травмы, во время операции для репозиции отломков применяли скелетное вытяжение.

Клиническое наблюдение за животными проводилось в течение 100 суток после моделирования перелома: выполняли измерение температуры тела, пульса и дыхания. Фиксировали общее состояние, функцию смежных суставов и конечности в целом, оценивали состояние послеоперационных ран, мышц и мягких тканей в области входа и выхода спиц. Амплитуду движений в суставах определяли с помощью угломера, сравнивая показатели оперированной конечности с контралатеральной.

Для рентгенологической оценки использовали рентгеновский аппарат «Compact» (Италия). Сила тока составляла 60 мА, напряжение — 45-69 кВ, время экспозиции — 0,4-0,6 с. Конкретные параметры работы аппарата зависели от вида и конституции животного. Рентгенографию травмированной конечности (в прямой и боковой проекциях) выполняли до и после оперативного вмешательства, на сроках фиксации и после снятия аппарата.

Биохимические исследования сыворотки крови. В сыворотке крови собак на сроках наблюдения определяли концентрацию С-реактивного белка (СРБ), активность щелочной фосфатазы (ЩФ) и креатинфосфокиназы (КК). Активность ферментов, а также концентрацию СРБ определяли на автоматическом биохимическом анализаторе Hitachi/ВМ 902 (Япония), используя наборы реагентов Vital Diagnostics (Россия).

Клинико-рентгенологические и лабораторные исследования выполняли на 3, 7, 14, 28, 42, 70 (только клинико-рентгенологические) и 100-е сутки после моделирования перелома.

Этические стандарты. На проведение исследования получено разрешение комитета по этике при Национальном медицинском исследовательском центре травматологии и

ортопедии имени академика Г.А. Илизарова Минздрава России. Все манипуляции с животными проведены в соответствии с Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей; межгосударственным стандартом ГОСТ 33217-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными» и СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)».

Статистика

Для оценки количественных данных выполняли проверку нормальности их распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. По итогам оценки все количественные данные представлены в виде медианы (Me) и 1-3-го квартиля (Q1; Q3), а оценка значимости выполнена с применением непараметрических тестов. Процедуру статистической оценки значимости отличий показателей внутри исследуемых групп (до/на сроках лечения) выполняли с применением W-критерия Вилкоксона. Для оценки статистической значимости показателей между группами использовали T-критерий Манна-Уитни.

Результаты

Оценка опорной и двигательной функций оперированной конечности экспериментальных животных обнаружила определенные межгрупповые отличия в части восстановления функций. Так, у животных группы 1 восстановление опорной и двигательной функций оперированной конечности отмечали к 14-м суткам после травмы, у животных групп 3 и 4 — до 10 суток после травмы. Атрофия мышц конечности у собак данных групп не наблюдалась. У животных группы 1 к 28-м суткам фиксации отмечалась хромота 1 типа (опирающейся конечности), в группе 3 и 4 хромота не определялась. У животных группы 2, в отличие от животных других групп, отмечалось снижение опороспособности и двигательной функции оперированной конечности (хромота 2 типа), которое сохранялось до 28-35 суток после травмы. При этом к 28-м суткам фиксации в аппарате у животных группы 2 определялись признаки атрофии мышц бедра в виде уменьшения объема и снижения тонуса. Кроме того, амплитуда движения в суставах в половине случаев находилась в пределах 100° (сгибание — 60°, разгибание — 160°).

Рентгенологически на сроках эксперимента во всех группах отмечалась правильная ось сегмента. Лишь в двух случаях (по одному животному из группы 2 и 4) отмечали незначительные смещения до 1/2 кортикальной пластинки. На 14-е сутки остеосинтеза у животных группы 1 и 2 в зоне перелома отмечали единичные периостальные тени (рис. 2 А, Б). В группе 3 и 4 периостальные наслоения на отломках проникали в зону перелома и были протяженностью до 20 мм и протяженностью до 1 мм (рис. 2 В, Г).

К 42-м суткам после операции в группах 1 и 3 линии перелома не визуализировались, на отломках периостальные наслоения компактизировались. Определяли формирование единых кортикальных пластинок (рис. 3 А, В), что свидетельствовало о наличии консолидации перелома. Животным данных групп после проведения клинической пробы аппарат на данном сроке демонтировали. В группах 2 и 4 линия перелома была завуалирована. В интрамедиарной зоне определяли эндостальные

Рис. 2. Фрагменты рентгенограмм особенностей консолидации диафизарных переломов бедренной кости на 14-е сутки после остеосинтеза: А – группа 1; Б – группа 2; В – группа 3; Г – группа 4.

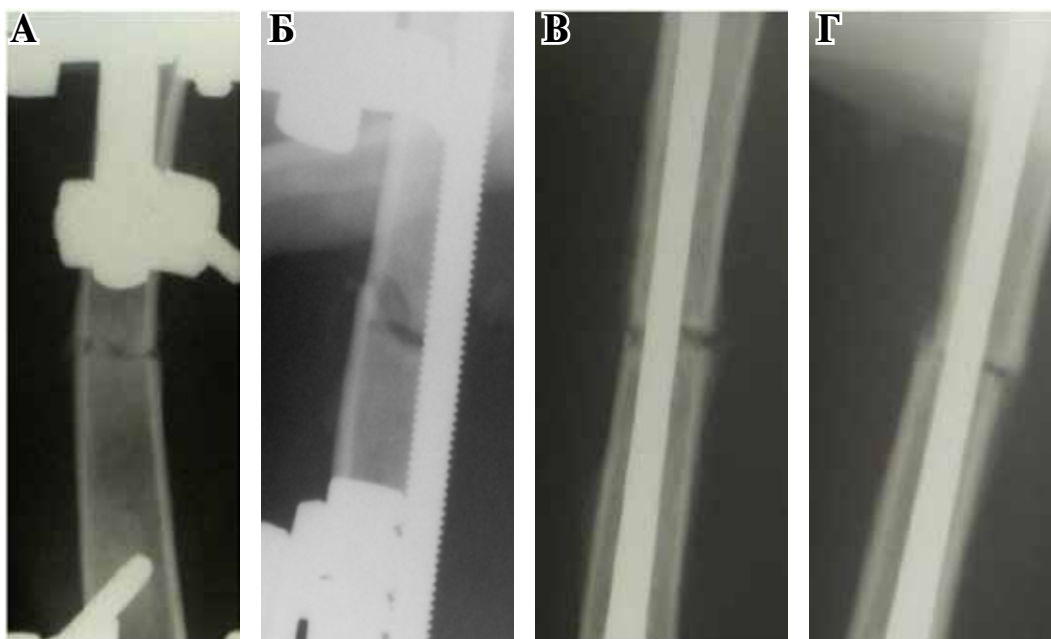
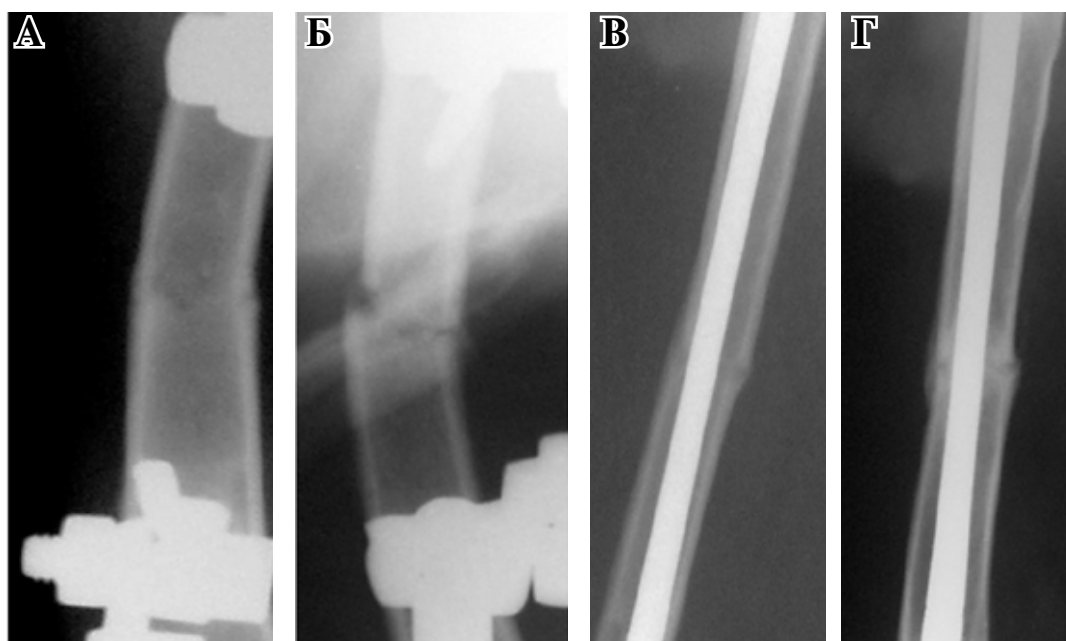


Рис. 3. Фрагменты рентгенограмм особенностей консолидации диафизарных переломов бедренной кости на 42-е сутки после остеосинтеза: А – группа 1; Б – группа 2; В – группа 3; Г – группа 4.



и периостальные тени, находящиеся в стадии компактизации. Эндостальная отмечалась в обеих группах, но была более выражена во второй (рис. 3 Б). Напластования на отломках в группе 4 компактизировались (рис. 3 Г).

К 70-м суткам после операции у собак групп 2 и 4 линия перелома определялась в виде участка пониженной интенсивности, периостальные наслоения на отломках компактизировались, формировались единые кортикальные пластинки с 2-3 сторон, что говорило о консолидации перелома (рис. 4 А, В).

Через 30 суток после снятия аппарата у животных всех групп ось кости сохранялась, определяли формирование единой костномозговой полости, кортикальные пластинки по интенсивности и диаметру приближались к материнской кости, рефрактуры не наблюдались.

Срок сращения перелома у животных группы 1 составил 46 (38; 57) суток, в группе 2 – 73 (71; 78), различия между группами достоверны ($p=0,004$); в группе 3 – 49 (44; 60) суток, в группе 4 – 72 суток (70; 93), различия между группами достоверны ($p=0,008$).

Анализ лабораторных данных показал, что на сроках эксперимента в сыворотке крови животных отмечалось значимое повышение активности маркера остеосинтеза – ЩФ по сравнению с дооперационными значениями, а динамика изменения активности фермента была одинакова у собак всех четырех групп (таблица 1).

Для собак групп 2 и 4 наблюдалась общая тенденция повышения активности КК (маркер повреждения скелетных мышц) и уровня СРБ (маркер острофазной реакции) на сроках эксперимента (таблицы 2, 3). Существенный рост СРБ в группах 2 и 4 может являться свидетельством того, что выполнение отсроченного остеосинтеза способствовало пролонгации острофазной реакции у собак этих групп, что в дальнейшем и приводило к увеличению у них длительности репарации.



Рис. 4. Фрагменты рентгенограмм особенностей консолидации диафизарных переломов бедренной кости на 70-е сутки после остеосинтеза: А – группа 2; Б – группа 4.

Обсуждение

Результаты выполненного исследования позволяют заключить, что динамика остеопаративных процессов во всех исследованных группах была схожа и не зависела от продолжительности периода от травмы до начала остеосинтеза. Достигнутое восстановление опороспособности и функции оперированной конечности у животных всех групп, в том числе и с отсроченным вариантом, свидетельствует о том что, применение обеих методик для лечения переломов диафиза бедренной кости оправдано. Подобные результаты отмечены в клиническом исследовании G. Polat с соавт., которые показали отсутствие различий в частоте осложнений и функциональных результатах лечения огнестрельных переломов диафиза бедренной кости как в условиях внешней фиксации, так и при применении блокируемого интрамедуллярного

Таблица 1

Динамика изменения активности щелочной фосфатазы (Е/л) в сыворотке крови животных экспериментальных групп, Ме (Q1; Q3)

Сутки после операции	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
-1	65 (53; 78)	58 (51; 70)	61 (50; 74)	54 (48; 69)
3	157 (123; 169)*	112 (101; 140)*	183 (138; 218)*	198 (149; 257)*
7	136 (120; 181)*	183 (130; 189)*	184 (141; 196)*	110 (98; 123)*
14	146 (113; 180)*	173 (145; 202)*	139 (129; 147)*	118 (103; 153)*
28	88 (76; 105)	130 (92; 149)*	90 (79; 105)	116 (105; 166)*
42	129 (100; 158)*	116 (94; 135)*	104 (91; 118)*	116 (102; 133)*
100	84 (70; 95)	93 (79; 104)*	65 (48; 71)	70 (64; 97)

Примечание: * – статистически значимые отличия по сравнению с дооперационными значениями (-1) при $p<0,05$. Подчеркнуты значения, достоверно отличающиеся от значений группы 3 при $p<0,05$.

Таблица 2

Динамика изменения активности креатинфосфокиназы (Е/л) в сыворотке крови животных экспериментальных групп, Ме (Q1; Q3)

Сутки после операции	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
-1	116 (86; 134)	113 (70; 140)	115 (92; 145)	117 (85; 131)
3	295 (175; 356)*	509 (372; 701)*	212 (181; 390)*	353 (208; 642)*
7	125 (85; 167)	444 (249; 552)*	161 (135; 236)	202 (167; 392)*
14	138 (86; 183)	235 (197; 377)*	117 (99; 163)	181 (175; 276)*
28	104 (91; 125)	119 (100; 147)	104 (72; 125)	188 (170; 241)*
42	110 (85; 129)	114 (78; 122)	102 (94; 128)	226 (156; 299)*
100	108 (89; 124)	107 (84; 113)	95 (86; 116)	108 (76; 145)

Примечание: * — статистически значимые отличия по сравнению с дооперационными значениями (-1) при $p < 0,05$. Подчеркнуты значения, достоверно отличающиеся от значений группы 1 (для группы 2) и 3 (для группы 4) при $p < 0,05$.

Таблица 3

Динамика изменения концентрации С-реактивного белка (мкг/л) в сыворотке крови животных экспериментальных групп, Медиана (1-3 квартиль)

Сутки после операции	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
-1	0,1 (0; 0,4)	0,3 (0,1; 0,5)	0,3 (0,1; 0,4)	0,3 (0,1; 0,5)
3	0,2 (0,2; 0,8)	1,1 (1,0; 1,5)*	0,6 (0,3; 1,0)	1,4 (1,2; 3,5)*
7	0,4 (0,4; 1,6)*	1,0 (1,0; 1,4)*	0,5 (0,4; 0,9)	1,2 (0,9; 3,3)*
14	0,2 (0,1; 0,9)	0,8 (0,8; 1,2)*	0,4 (0,3; 1,2)	0,7 (0,3; 1,8)
28	0,2 (0,2; 0,5)	0,8 (0,6; 2,2)*	0,3 (0,1; 1,1)	0,5 (0,3; 1,6)
42	0,2 (0,2; 0,6)	0,5 (0,0; 0,6)	0,3 (0,0; 0,3)	0,6 (0,2; 1,9)
100	0,1 (0,1; 0,3)	0,3 (0,1; 0,6)	0,3 (0,1; 0,5)	0,9 (0,8; 2,1)*

Примечание: * — статистически значимые отличия по сравнению с дооперационными значениями (-1) при $p < 0,05$. Подчеркнуты значения, достоверно отличающиеся от значений группы 1 (для группы 2) и 3 (для группы 4) при $p < 0,05$.

штифта [9]. Предпочтение этим технологиям, как малоинвазивным, для лечения переломов бедренной кости в условиях политравмы отдается и в работе Ю.Г. Шапкина и П.А. Селиверстова [10].

Сравнительная оценка длительности репарации перелома в случаях отсроченного остеосинтеза (группы 2 и 4) продемонстрировала существенное увеличение времени консолидации перелома относительно раннего остеосинтеза, также не зависящее от использованной методики. Очевидно, что этот факт свидетельствует о том, что фиксацию перелома диафиза бедра необходимо осуществлять urgently. На это указывают большинство исследователей [11, 12]. При этом каких — либо данных о предпочтительных технологиях лечения диафизарного перелома бедренной кости в условиях отсроченного остеосинтеза, сопоставимых с нашим исследованием, не найдено. Это связано с тем, что в большинстве работ результаты эффективности применения технологий остеосинтеза диафизарных переломов бедра не привязываются к сроку давности травмы [13, 14], считается, что эффективность восстановления поврежденной кости обусловлена в большей степени характером перелома, а не использованной методикой хирургического вмешательства [15].

В этом плане наше исследование позволяет отметить, что выбранные нами методики обладают сопоставимой эффективностью в части

остеосинтеза переломов диафиза бедренной кости как в раннем, так и в отсроченном периоде после травмы. Тем не менее, мы считаем, что применение указанных технологий для лечения перелома диафиза бедра является методом выбора. Так, метод интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза, на наш взгляд, предпочтителен у пациентов с простыми переломами бедренной кости у которых происходит раннее восстановление функции конечности и социализация. Лечение же методом чрескостного остеосинтеза ССА обосновано при сложных переломах, т.к. дает возможность обеспечить максимальное сохранение остеогенных тканей. Необходимость такого дифференцированного подхода в выборе технологии лечения переломов бедренной кости отмечена и в работе [16].

Заключение

Результаты исследования позволяют заключить, что длительность заживления перелома диафиза бедренной кости при применении технологии чрескостного остеосинтеза ССА и технологии БИОС сопоставима как в условиях ургентного, так и отсроченного остеосинтеза.

Финансирование

Работа выполнялась в соответствии с

планом государственного задания по науке Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова Минздрава России. Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей медицинских изделий авторы не получали.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликт интересов отсутствует.

Этические аспекты

Исследование одобрено Комитетом по этике при Национальном медицинском исследовательском центре травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова Минздрава России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dagneaux L, Allal R, Pithieux M, Chabrand P, Olivier M, Argenson JN. Femoral malrotation from diaphyseal fractures results in changes in patellofemoral alignment and higher patellofemoral stress from a finite element model study. *Knee*. 2018 Oct;25(5):807-13. doi: 10.1016/j.knee.2018.06.008
2. Gelalis ID, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Korompilias AV, Pakos EE, Vekris MD, Karageorgos A, Xenakis TA. Diagnostic and treatment modalities in nonunions of the femoral shaft: a review. *Injury*. 2012 Jul;43(7):980-98. doi: 10.1016/j.injury.2011.06.030
3. Ng AC, Drake MT, Clarke BL, Sems SA, Atkinson EJ, Achenbach SJ, Melton LJ 3rd. Trends in subtrochanteric, diaphyseal, and distal femur fractures, 1984-2007. *Osteoporos Int*. 2012 Jun;23(6):1721-26. doi: 10.1007/s00198-011-1777-9
4. Rupp M, Biehl C, Budak M, Thormann U, Heiss C, Alt V. Diaphyseal long bone nonunions - types, aetiology, economics, and treatment recommendations. *Int Orthop*. 2018 Feb;42(2):247-58. doi: 10.1007/s00264-017-3734-5
5. Sipahioglu S, Zehir S, Sarikaya B, Isikan UE. Comparison of the expandable nail with locked nail in the treatment of closed diaphyseal fractures of femur. *Niger J Clin Pract*. 2017 Jul;20(7):792-98. doi: 10.4103/1119-3077.212452
6. Vicenti G, Bizzoca D, Carrozzo M, Nappi V, Riffino F, Solarino G, Moretti B. The ideal timing for nail dynamization in femoral shaft delayed union and non-union. *Int Orthop*. 2019 Jan;43(1):217-22. doi: 10.1007/s00264-018-4129-y
7. Wolinsky PR, Lucas JF. Reduction Techniques for Diaphyseal Femur Fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017 Nov;25(11):e251-e260. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00021
8. Бондаренко АВ, Герасимова ОА, Гончаренко АГ. К вопросу об оптимальных сроках остеосинтеза «основных переломов» при сочетанной травме. *Травматология и Ортопедия России*. 2006;(1):4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-optimalnyh-srokah-osteosinteza-osnovnyh-perelomov-pri-sochetannoy-travme>

9. Polat G, Balci HI, Ergin ON, Asma A, Şen C, Kiliçoğlu Ö. A comparison of external fixation and locked intramedullary nailing in the treatment of femoral diaphysis fractures from gunshot injuries. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2018 Jun;44(3):451-55. doi: 10.1007/s00068-017-0814-6
10. Шапкин ЮГ, Селиверстов ПА. Факторы риска несращения переломов костей при политравме. *Кубань Науч Мед Вестн*. 2017;24(6):168-76. doi: 10.25207/1608-6228-2017-24-6-168-176
11. Medda S, Unger T, Halvorson J. Diaphyseal Femur Fracture. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan. 2020 Jun 30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493169/>
12. Denisiuk M, Afsari A. Femoral Shaft Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan. 2020 Mar 14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556057>
13. Литвишко ВА. Лечение оскольчатых переломов длинных костей конечностей аппаратами внешней фиксации. *Ортопедия, Травматология и Протезирование*. 2016;(4):40-46. <http://otp-journal.com.ua/article/view/88542/84389>
14. Koso RE, Terhoeve C, Steen RG, Zura R. Healing, nonunion, and re-operation after internal fixation of diaphyseal and distal femoral fractures: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop*. 2018 Nov;42(11):2675-83. doi: 10.1007/s00264-018-3864-4
15. Зуев ПП. Сравнительный анализ результатов хирургического лечения больных с несросшимися переломами средней трети диафиза бедренной кости. *Сармат Науч-Мед Журн*. 2019;15(3):641-43. http://ssmj.ru/system/files/2019_03_641-643.pdf
16. Барабаш АП, Шпиняк СП, Барабаш ЮА. Сравнительная характеристика методов остеосинтеза у пациентов с оскольчатыми переломами диафиза бедренной кости. *Травматология и Ортопедия России*. 2013;(2):116-24. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2013--2-116-124>

REFERENCES

1. Dagneaux L, Allal R, Pithieux M, Chabrand P, Olivier M, Argenson JN. Femoral malrotation from diaphyseal fractures results in changes in patellofemoral alignment and higher patellofemoral stress from a finite element model study. *Knee*. 2018 Oct;25(5):807-13. doi: 10.1016/j.knee.2018.06.008
2. Gelalis ID, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Korompilias AV, Pakos EE, Vekris MD, Karageorgos A, Xenakis TA. Diagnostic and treatment modalities in nonunions of the femoral shaft: a review. *Injury*. 2012 Jul;43(7):980-98. doi: 10.1016/j.injury.2011.06.030
3. Ng AC, Drake MT, Clarke BL, Sems SA, Atkinson EJ, Achenbach SJ, Melton LJ 3rd. Trends in subtrochanteric, diaphyseal, and distal femur fractures, 1984-2007. *Osteoporos Int*. 2012 Jun;23(6):1721-26. doi: 10.1007/s00198-011-1777-9
4. Rupp M, Biehl C, Budak M, Thormann U, Heiss C, Alt V. Diaphyseal long bone nonunions - types, aetiology, economics, and treatment recommendations. *Int Orthop*. 2018 Feb;42(2):247-58. doi: 10.1007/s00264-017-3734-5
5. Sipahioglu S, Zehir S, Sarikaya B, Isikan UE. Comparison of the expandable nail with locked nail in the treatment of closed diaphyseal fractures of femur. *Niger J Clin Pract*. 2017 Jul;20(7):792-98. doi: 10.4103/1119-3077.212452
6. Vicenti G, Bizzoca D, Carrozzo M, Nappi V, Riffino F, Solarino G, Moretti B. The ideal timing for nail dynamization in femoral shaft delayed union and non-union. *Int Orthop*. 2019 Jan;43(1):217-22. doi: 10.1007/s00264-018-4129-y

- fino F, Solarino G, Moretti B. The ideal timing for nail dynamization in femoral shaft delayed union and non-union. *Int Orthop*. 2019 Jan;43(1):217-22. doi: 10.1007/s00264-018-4129-y
7. Wolinsky PR, Lucas JF. Reduction Techniques for Diaphyseal Femur Fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017 Nov;25(11):e251-e260. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00021
8. Bondarenko AV, Gerasimova OA, Goncharenko AG. For the question about optimal terms of «general fracture» osteosynthesis in patients with multitrauma. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*. 2006;(1):4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-optimalnyh-srokah-osteosinteza-osnovnyh-perelomov-pri-sochetannoy-travme> (In Russ.)
9. Polat G, Balci HI, Ergin ON, Asma A, Şen C, Kiliçoğlu Ö. A comparison of external fixation and locked intramedullary nailing in the treatment of femoral diaphysis fractures from gunshot injuries. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2018 Jun;44(3):451-55. doi: 10.1007/s00068-017-0814-6
10. Shapkin Y G, Seliverstov PA. Risk factors of fracture nonunion in polytrauma. *Kuban Nauch Med Vestn*. 2017;24(6):168-76. doi: 10.25207 / 1608-6228-2017-24-6-168-176 (In Russ.)
11. Medda S, Unger T, Halvorson J. Diaphyseal Fe-

- mur Fracture. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan. 2020 Jun 30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK493169/>
12. Denisiuk M, Afsari A. Femoral Shaft Fractures. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan. 2020 Mar 14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556057/>
13. Litvishko VA. Treatment of long bones comminuted fractures using external fixation device. *Ortopediya, Travmatologiya i Protezirovaniye*. 2016;(4):40-46. <http://otjournal.com.ua/article/view/88542/84389> (In Russ.)
14. Koso RE, Terhoeve C, Steen RG, Zura R. Healing, nonunion, and re-operation after internal fixation of diaphyseal and distal femoral fractures: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop*. 2018 Nov;42(11):2675-83. doi: 10.1007/s00264-018-3864-4
15. Zuev PP. Comparative analysis of surgical outcomes for patients with femoral ununited midshaft fractures. *Sarat Nauch-Med Zhurn*. 2019;15(3):641-43. http://ssmj.ru/system/files/2019_03_641-643.pdf (In Russ.)
16. Barabash AP, Shpinyak SP, Barabash JA. Comparative characteristics of osteosynthesis techniques in patients with comminuted diaphyseal femoral fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2013;(2):116-24. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2013--2-116-124> (In Russ.)

Адрес для корреспонденции

640014, Российская Федерация,
г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6,
Национальный медицинский исследовательский
центр травматологии и ортопедии имени
академика Г.А. Илизарова Минздрава России,
тел.: +7 352 245-05-38,
e-mail: stogo_off@list.ru,
Стогов Максим Валерьевич

Address for correspondence

640014, Russian Federation,
Kurgan, M.Ulyanova Str., 6
National Ilizarov Scientific Center
for Traumatology and Orthopedics,
Ministry of Health of Russia,
tel. +7 352 245-05-38,
e-mail: stogo_off@list.ru,
Stogov Maxim V.

Сведения об авторах

Еманов Андрей Александрович, к.вет.н., ведущий научный сотрудник экспериментальной лаборатории, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-2890-3597>

Стогов Максим Валерьевич, д.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>

Киреева Елена Анатольевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории биохимии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>

Тушина Наталья Владимировна, к.б.н., научный сотрудник лаборатории биохимии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>

Information about the authors

Emanov Andrei A., PhD(Vet) Leading Researcher of the Experimental Laboratory, National Ilizarov Scientific Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan. Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-2890-3597>

Stogov Maxim V., DS(Biol) Associate Professor, Leading Researcher of the Biochemistry Laboratory, National Ilizarov Scientific Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan. Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>

Kireeva Elena A., PhD(Biol), Senior Researcher of the Biochemistry Laboratory, National Ilizarov Scientific Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan. Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>

Tushina Natalya V., PhD(Biol), Researcher of the Biochemistry Laboratory, National Ilizarov Scientific Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan. Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>

Информация о статье

Поступила 11 февраля 2020 г.
Принята в печать 18 января 2021 г.
Доступна на сайте 1 марта 2021 г.

Article history

Arrived: 11 February 2020
Accepted for publication: 18 January 2021
Available online: 1 March 2021